

BREVET D'INVENTION

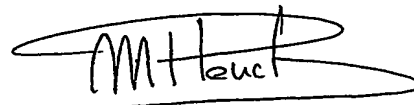
CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 06 JAN. 2004

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets



Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

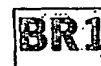
Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354*03

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

page 1/2



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 540 e R / 210502

REMISE DES PIÈCES DATE 28 JAN 2003 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0300910 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE 28 JAN. 2003 PAR L'INPI		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE BREVATOME 3, rue du Docteur Lancereaux 75008 PARIS 422-5 S/002	
Vos références pour ce dossier (facultatif) B 14146.3/AP HD 771			
Confirmation d'un dépôt par télécopie		<input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie	
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
Demande de brevet initiale		N° _____ Date _____	
ou demande de certificat d'utilité initiale		N° _____ Date _____	
Transformation d'une demande de brevet européen		<input type="checkbox"/> N° _____ Date _____	
Demande de brevet initiale			
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FLUX DE GAZ SUPERSONIQUE PULSE.			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date _____ Pays ou organisation _____ N° _____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)		<input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique	
Nom ou dénomination sociale		COMMISSARIAT A L' ENERGIE ATOMIQUE	
Prénoms			
Forme juridique		Etablissement de caractère Scientifique, Technique et Industriel	
N° SIREN		_____	
Code APE-NAF		_____	
Domicile ou siège	Rue	31-33 rue de la Fédération	
	Code postal et ville	75157 PARIS 15ème	
	Pays	FRANCE	
Nationalité		FRANCAISE	
N° de téléphone (facultatif)		N° de télécopie (facultatif) 0	
Adresse électronique (facultatif)			
		<input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	

Remplir impérativement la 2^{ème} page

REMISE DES PIÈCES
DATE **28 JAN 2003**
LIEU **75 INPI PARIS**
N° D'ENREGISTREMENT **0300910**
NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

08 540 W / 210502

6 MANDATAIRE (s'il y a lieu)		
Nom	AHNER	
Prénom	Philippe	
Cabinet ou Société	BREVATOME 422.5/S002	
N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel	7068 du 12.06.98	
Adresse	Rue	3, rue du Docteur Lancereaux
	Code postal et ville	75 008 PARIS
	Pays	FRANCE
N° de téléphone (facultatif)	01 53 83 94 00	
N° de télécopie (facultatif)	01 45 63 83 33	
Adresse électronique (facultatif)	brevets.patents@brevalex.com	
7 INVENTEUR (S)		Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques
Les demandeurs et les inventeurs sont les mêmes personnes		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non : Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)
8 RAPPORT DE RECHERCHE		Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)
Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Paiement échelonné de la redevance (en deux versements)		Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non
9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition) <input type="checkbox"/> Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : AG [] [] [] [] [] []
10 SÉQUENCES DE NUCLEOTIDES ET/OU D'ACIDES AMINÉS		<input type="checkbox"/> Cochez la case si la description contient une liste de séquences
Le support électronique de données est joint		<input type="checkbox"/>
La déclaration de conformité de la liste de séquences sur support papier avec le support électronique de données est jointe		<input type="checkbox"/>
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		
11 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire) P. AHNER 		VISA DE LA PRÉFECTURE OU DE L'INPI M MARTIN

DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FLUX DE GAZ SUPERSONIQUE PULSE

5

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

10 La présente invention se rapporte de façon générale aux dispositifs d'injection d'un flux de gaz pulsé.

15 Plus spécifiquement, l'invention concerne un dispositif permettant d'injecter de la matière dans une installation d'étude des plasmas de fusion thermonucléaire.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

20 Dans une installation de fusion thermonucléaire, le combustible pouvant être utilisé est par exemple le deutérium et/ou le tritium. Il doit être porté à plusieurs centaines de millions de degrés, tout en restant confiné à cette température pendant la période la plus longue possible. Pour ce faire, les solutions les plus performantes qui ont été envisagées

25 jusqu'à présent se rapportent à l'utilisation de champs magnétiques intenses permettant d'isoler le plasma de fusion, comportant le gaz ionisé à environ 300 millions de degrés Kelvin, des parois de l'enceinte de confinement.

A ce titre, il est noté que la bonne qualité du confinement se transforme en défaut majeur pour le fonctionnement de l'installation. En effet, si le champ magnétique empêche les particules chaudes de quitter le plasma, il empêche également le remplacement du combustible. Cependant, ces risques restent relativement minimes dans la mesure où des échanges entre l'extérieur et le cœur du plasma ont effectivement lieu, en raison de l'existence d'un certain niveau de diffusion créé par différents facteurs tels que l'absence d'un confinement parfait, des turbulences, ou encore des collisions incessantes entre les particules du plasma.

Ainsi, le contrôle de la quantité de matière contenue dans le plasma est donc réalisé par un équilibrage entre le pompage des particules sortant du plasma vers la paroi, et l'injection du combustible frais. A cet égard, il est précisé que le problème spécifique d'alimentation d'une enceinte ultra-vide en gaz léger comme l'hydrogène ou l'hélium, requiert une très bonne étanchéité et un très bon contrôle.

De l'art antérieur, on connaît à ce jour deux solutions distinctes pour réaliser l'injection de matière dans le plasma d'une installation de fusion thermonucléaire.

Une première solution consiste à injecter le combustible sous forme gazeuse, à température ambiante.

Cette injection de gaz s'effectue de manière générale à l'aide d'une ou plusieurs vannes piézoélectriques, à un débit de l'ordre de 0,1 à 3

Pa.m³/s. Notons à titre indicatif que l'unité de quantité de matière employée et communément utilisée pour les plasmas de fusion, correspond à la quantité de matière contenue dans un mètre cube à une pression de un Pascal, mesurée à la température ambiante de 20°C. Toujours à titre indicatif, cette quantité correspond à 2,7.10²⁰ molécules, et la quantité de particules contenue dans un plasma classique de l'installation « Tore Supra » est d'environ 1 à 2 Pa.m³, renouvelée toutes les secondes à l'aide d'une à trois vannes piézoélectriques.

D'autre part, les vannes utilisées disposent d'un temps de réponse compris entre 5 et 10 ms, tout à fait adapté pour assurer une alimentation contrôlée du plasma.

Cependant, dans un tel cas, le gaz injecté par ces vannes entre la paroi de l'enceinte et la surface du plasma est ionisé dès qu'il pénètre de quelques centimètres dans ce dernier, pour ensuite être transféré vers le cœur de ce plasma par diffusion. Or, lors de la mise en œuvre de cette solution, il a été constaté que la matière injectée ressortait relativement rapidement du cœur du plasma, rendant ainsi le phénomène trop peu efficace.

A ce titre, il a également été observé que l'efficacité de cette solution, définie par le rapport entre le nombre de particules atteignant les zones centrales du plasma et le nombre de particules injectées dans la chambre, ne dépassait pas 10 à 20%. Ainsi, bien que les vannes piézoélectriques employées se soient révélées compatibles avec les exigences

d'alimentation contrôlée du plasma, l'efficacité de cette première solution reste trop faible pour optimiser la gestion des quantités de gaz utilisées sur l'installation.

5 Un seconde solution a alors été proposée dans l'art antérieur. Elle réside dans l'injection du combustible sous forme solide, par l'intermédiaire de techniques cryogéniques. Le deutérium et/ou le tritium sont alors solidifiés à 4°K , afin de former des
10 « glaçons » injectés ensuite dans l'installation à une vitesse de l'ordre de plusieurs centaines de mètres par seconde, à l'aide d'un injecteur pneumatique du type « sarbacane », ou encore à l'aide d'un injecteur centrifuge du type « fronde ».

15 Ces injecteurs peuvent fonctionner jusqu'à environ 10 Hertz, et les glaçons formés disposent chacun d'une quantité de matière de l'ordre de 0,2 à 0,5 Pa.m^3 , correspondant à une valeur comprise entre 2 et 5 mm^3 .

20 Dans ce type d'injection, la matière pénètre profondément dans le plasma, car les glaçons sont protégés de la forte température régnant dans le cœur de ce plasma par formation d'un nuage de gaz très dense autour de chacun d'entre eux, selon un phénomène
25 de caléfaction. En effet, lorsqu'un glaçon pénètre dans la plasma, la matière s'évapore partiellement et forme un nuage de protection dont la température augmente au fur et à mesure que ce dernier se rapproche du cœur du plasma. Il se crée alors un « globule » de plasma
30 dérivant dans le gradient du champ magnétique, jusqu'à

ce que la matière injectée s'homogénéise avec celle du plasma principal.

Lors de la mise en œuvre d'une telle solution, l'efficacité s'est révélée être proche de 100%. De plus, comme mentionné ci-dessus, il a été observé que le globule de plasma formé, dérivant dans le gradient de champ magnétique, augmentait encore davantage la pénétration de cette matière vers le cœur du plasma.

Cependant, malgré la bonne efficacité de l'alimentation procurée par cette seconde solution d'injection, la complexité de sa mise en œuvre se traduit directement par des coûts 10 à 100 fois plus importants que pour la première solution.

Par ailleurs, il est en outre précisé que dans les installations de fusion thermonucléaire actuelles, les combustibles majoritairement utilisés sont l'hydrogène et/ou le deutérium. Or si la mise en œuvre peu coûteuse de ces gaz reste envisageable dans des solutions d'efficacité relativement faible, il n'en est pas de même lorsque le combustible utilisé est largement plus onéreux, tel que le tritium, qui est considéré comme le principal combustible des installations futures. De plus, le tritium étant difficile à mettre sous forme solide en raison de sa radioactivité et de la présence d'éléments He^3 , la seconde solution d'injection présentée précédemment n'est pas non plus totalement satisfaisante dans la perspective de l'utilisation d'un tel combustible dans des installations de fusion thermonucléaire.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention a donc pour but de proposer un dispositif de mise en œuvre simple, donc peu coûteuse, permettant d'injecter rapidement du gaz à très forte
5 pression, avec un flux instantané intense, tout en garantissant une très bonne étanchéité entre les pulses de gaz.

Ce dispositif trouve notamment une application pour une installation d'étude des plasmas
10 de fusion thermonucléaire. Par ailleurs, il est précisé que ce dispositif peut s'appliquer de façon générale à toute injection de gaz dans une enceinte fermée comme une chambre de combustion de moteurs, ou réacteurs physico-chimiques.

15 Pour ce faire, l'invention a pour objet un dispositif d'injection d'un flux de gaz supersonique pulsé, notamment mais non-exclusivement destiné à alimenter une installation d'étude des plasmas de fusion thermonucléaire en combustible. Selon
20 l'invention, le dispositif d'injection comporte une première chambre à l'intérieur de laquelle le gaz à injecter se trouve sous pression de part et d'autre d'un piston libre, le dispositif comprenant des moyens de mise en mouvement de ce piston libre, connectés à la
25 première chambre et susceptibles de provoquer une propulsion du piston libre. De plus, le dispositif comporte une tuyère supersonique d'éjection du gaz apte à communiquer avec la première chambre par l'intermédiaire d'une ouverture pratiquée dans cette
30 première chambre, ainsi qu'une soupape obturant

l'ouverture et apte à être actionnée par percussion du piston libre.

Avantageusement, le dispositif d'injection selon l'invention est de conception simple, tout à fait adaptée à une installation d'étude des plasmas de fusion thermonucléaire.

Ainsi, le principe de l'invention reposant sur une injection de bouffées de gaz rapides et concentrées, cette caractéristique spécifique permet de conserver une simplicité de mise en œuvre similaire à celle rencontrée dans la première solution de l'art antérieur, lorsque l'injection de gaz était réalisée à l'aide de vannes piézoélectriques. Par ailleurs, l'agencement particulier proposé autorise également une injection de gaz dont les caractéristiques se rapprochent fortement de celles relatives à la seconde solution décrite dans l'art antérieur, lorsque l'injection du combustible s'effectuait sous forme de glaçons.

Le dispositif selon l'invention peut alors avantageusement atteindre une efficacité de l'ordre de 50 à 60%, donc bien supérieure à celle obtenue avec la première solution de l'art antérieur, tout en étant conçu de sorte que son coût soit au moins dix fois inférieur à celui de la seconde solution de l'art antérieur.

Les tests réalisés sur l'installation « Tore Supra » ont d'autre part démontré que le dispositif d'injection présenté autorisait une injection d'un pulse de gaz d'une quantité de l'ordre de $0,5 \text{ Pa.m}^3$ pendant environ 0,5 ms à une fréquence de

fonctionnement au moins égale à 10 Hertz, ces valeurs permettant d'assurer une alimentation en combustible de l'installation très satisfaisante.

Préférentiellement, les moyens de mise en mouvement du piston libre sont susceptibles de créer une différence de pression dans le gaz à injecter, de part et d'autre du piston libre. Pour ce faire, on peut prévoir que ces moyens de mise en mouvement comprennent une seconde chambre à l'intérieur de laquelle le gaz à injecter se trouve sous pression de part et d'autre d'un piston commandé.

Dans un tel cas, la seconde chambre peut alors être connectée à la première chambre par l'intermédiaire d'un premier conduit de raccordement faisant communiquer une première portion d'extrémité de la première chambre avec une seconde portion d'extrémité de la seconde chambre, et par l'intermédiaire d'un second conduit de raccordement faisant communiquer une première portion d'extrémité de la seconde chambre avec une seconde portion d'extrémité de la première chambre. Ainsi, un mouvement du piston commandé dans la direction allant de la seconde vers la première portion d'extrémité de la seconde chambre provoque une propulsion du piston libre dans la direction allant de la seconde vers la première portion d'extrémité de la première chambre, et inversement.

Avec un tel agencement, il est alors possible de prévoir que le piston commandé est actionné par un ensemble magnétique, comportant deux bobines espacées et montées de façon à entourer la seconde chambre du dispositif.

De plus, la première portion d'extrémité de la seconde chambre comporte préférentiellement une entrée de gaz, destinée à être raccordée à une alimentation en gaz à injecter. A cet égard, de façon à
5 assurer un remplissage en gaz à injecter de l'ensemble du dispositif, la seconde chambre peut être munie d'un by-pass réglable autorisant la circulation du gaz à injecter entre les première et seconde portions d'extrémité de cette seconde chambre. Il est en outre
10 possible d'assurer cette fonction en prévoyant qu'au moins l'un des éléments pris parmi le piston libre et le piston commandé est logé dans sa chambre respective de façon à former un passage étroit pour le gaz, entre les deux compartiments de la chambre qu'il définit.

15 Dans un mode de réalisation préféré du dispositif selon l'invention, la première chambre est obturée au niveau de sa seconde portion d'extrémité à l'aide d'un bloc de fermeture comprenant un premier et un second orifice, le premier orifice coopérant avec le
20 premier conduit de raccordement et débouchant dans un canal adjacent à la première chambre communiquant avec la première portion d'extrémité de cette première chambre, le second orifice coopérant avec le second conduit de raccordement et débouchant directement dans
25 la première chambre du dispositif.

Par ailleurs, la soupape obturant l'ouverture pratiquée dans la première chambre du dispositif peut disposer d'une tête traversant cette
ouverture et faisant saillie dans une enceinte
30 d'injection prévue dans la première portion d'extrémité, l'enceinte d'injection étant apte à être

fermée par le piston libre. Pour ce faire, le piston libre est avantageusement conçu de manière à comporter un élément externe ainsi qu'un élément interne coulissant dans l'élément externe, l'élément interne
5 étant destiné à percuter la tête de la soupape afin de l'actionner, et l'élément externe étant destiné à fermer l'enceinte d'injection.

Dans ce mode de réalisation préféré, la soupape est mise sous tension par l'intermédiaire d'un
10 ressort, de façon à écraser un joint d'étanchéité situé autour de l'ouverture pratiquée dans la première chambre du dispositif. Le ressort est alors situé dans un logement réalisé d'une seule pièce avec la première chambre, ce même logement ainsi que la chambre étant
15 sensiblement cylindriques et coaxiaux, et séparés par l'ouverture pratiquée dans la première chambre du dispositif. D'autre part, le logement du ressort dispose d'un orifice faisant communiquer un espace intérieur de ce logement avec la tuyère supersonique du
20 dispositif.

Enfin, notons que les moyens de mise en mouvement du piston libre sont aptes à provoquer une ouverture de la soupape pendant une durée d'environ 2 ms, et une éjection de gaz de la tuyère supersonique
25 d'une quantité de l'ordre de $0,5 \text{ Pa.m}^3$ pendant une durée d'environ 0,5 ms, à une fréquence de fonctionnement d'au moins 10 Hz.

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée
30 non limitative ci-dessous.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

Cette description sera faite au regard des dessins annexés parmi lesquels ;

- 5 - la figure 1 représente une vue schématique d'un dispositif d'injection d'un flux de gaz supersonique pulsé, schématisant le principe de l'invention ;
- 10 - la figure 2 représente une vue en coupe d'un dispositif d'injection d'un flux de gaz supersonique pulsé, selon un mode de réalisation préféré de la présente invention ;
- 15 - les figures 3a à 3g schématisent le fonctionnement du dispositif d'injection représenté sur la figure 2 ;
- 15 - la figure 4 est un graphe illustrant l'évolution de différents paramètres du dispositif d'injection représenté sur la figure 2, lorsque ce dernier est en fonctionnement ; et
- 20 - la figure 5 est une vue partielle et schématique en coupe d'une installation d'étude des plasmas de fusion thermonucléaire, sur laquelle est monté le dispositif d'injection représenté sur la figure 2 à 4.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

- 25 En référence à la figure 1, il est représenté un dispositif d'injection 1 d'un flux de gaz supersonique pulsé, schématisant le principe de l'invention.

- 30 Le dispositif d'injection 1 comporte une première chambre 2, à l'intérieur de laquelle se trouve

un piston libre 4, le gaz à injecter étant sous pression de part et d'autre de ce piston libre 4.

Le dispositif 1 comporte en outre une tuyère supersonique 6, à travers laquelle le gaz est susceptible d'être éjecté, afin d'engendrer un flux supersonique pulsé.

Comme on peut le voir sur la figure 1, la première chambre 2 est apte à communiquer avec la tuyère supersonique 6, notamment à l'aide d'une ouverture 8 pratiquée dans cette première chambre 2 du dispositif 1, et obturée par une soupape 10.

Afin de générer le flux de gaz supersonique pulsé, le dispositif 1 est muni de moyens de mise en mouvement 12 du piston libre 4, connectés à la première chambre 2 et susceptibles de provoquer une propulsion du piston libre 4 dans cette première chambre 2 du dispositif d'injection 1.

Ainsi, avec une telle configuration, le piston libre 4 en mouvement dans la première chambre 2 est apte à percuter la soupape 10, de manière à libérer l'ouverture 8 pendant une durée déterminée, et autoriser un passage du gaz à injecter entre la première chambre 2 et la tuyère supersonique 6.

La figure 2 représente un dispositif d'injection 100 d'un flux de gaz supersonique pulsé, selon un mode de réalisation préféré de la présente invention.

Comme mentionné précédemment dans le principe de l'invention, le dispositif d'injection 100 comporte une première chambre 2, un piston libre 4 susceptible d'être mis en mouvement à l'intérieur de la

première chambre 2, une tuyère supersonique 6, une ouverture 8 dans la première chambre 2, ainsi qu'une soupape 10 obturant cette ouverture.

5 Dans ce mode de réalisation préféré de la présente invention, les moyens de mise en mouvement 12 du piston libre 4 comportent une seconde chambre 14, à l'intérieur de laquelle se trouve un piston commandé 16, le gaz à injecter étant sous pression de part et d'autre de ce piston libre 16.

10 Afin d'assurer la connexion entre la première chambre 2 et la seconde chambre 14 du dispositif d'injection 100, ce dernier comprend un premier conduit de raccordement 18 faisant communiquer une première portion d'extrémité 2a de la première
15 chambre 2 avec une seconde portion d'extrémité 14b de la seconde chambre 14. De plus, le dispositif 100 est également muni d'un second conduit de raccordement 20 faisant communiquer une première portion d'extrémité 14a de la seconde chambre 14 avec une seconde portion
20 d'extrémité 2b de la première chambre 2.

Les conduits de raccordement 18 et 20 sont par conséquent également remplis de gaz à injecter, et agencés de sorte qu'un mouvement du piston commandé 16 dans la direction allant de la seconde portion
25 d'extrémité 14b vers la première portion d'extrémité 14a de la seconde chambre 2 engendre une pression/dépression de part et d'autre du piston libre 4, provoquant ainsi une propulsion de ce piston libre 4 dans la direction allant de la seconde portion
30 d'extrémité 2b vers la première portion d'extrémité 2a de la première chambre 2. De façon analogue, on peut

noter qu'un mouvement du piston commandé 16 dans la direction allant de la première portion d'extrémité 14a vers la seconde portion d'extrémité 14b de la seconde chambre 2 engendre une propulsion du piston libre 4 dans la direction allant de la première portion d'extrémité 2a vers la seconde portion d'extrémité 2b de la première chambre 2.

Il est par ailleurs précisé que les premières portions d'extrémité 2a et 14a des première et seconde chambres 2 et 4 correspondent préférentiellement à des portions d'extrémité hautes, tandis que les secondes portions d'extrémité 2b et 14b des première et seconde chambres 2 et 4 correspondent à des portions d'extrémité basses. Ainsi, en raison de la position sensiblement verticale des première et seconde chambres 2 et 14, lorsque le dispositif d'injection 100 est dans une position de repos telle que celle représentée sur la figure 2, la pression du gaz à injecter est sensiblement identique dans tous les éléments constitutifs du dispositif 100, permettant alors aux pistons libre et commandé 4 et 16 de se situer respectivement, par gravité, au niveau des secondes portions d'extrémité basses 2b et 14b des chambres 2 et 14.

Le dispositif d'injection 100 est connecté à une alimentation en gaz (non représentée), cette alimentation étant susceptible d'introduire le gaz à injecter dans le dispositif 100, sous une pression par exemple comprise entre 3 et 10 bars, et de préférence sous une pression d'environ 5 bars. Pour ce faire, on peut prévoir que l'alimentation est raccordée à une

entrée de gaz 22, communiquant avec la première portion d'extrémité 14a de la seconde chambre 14.

D'autre part, afin d'assurer la présence et une pression sensiblement identique du gaz dans tous
5 les éléments constitutifs du dispositif 100, la seconde chambre 14 est reliée à un by-pass réglable 22, autorisant la circulation du gaz entre la première portion d'extrémité 14a et la seconde portion d'extrémité 14b, donc de part et d'autre du piston
10 commandé 16. De cette façon, après chaque actionnement de la soupape 10 entraînant la libération de l'ouverture 8 pratiquée dans la première chambre 2, la quantité de gaz s'étant échappée par la tuyère supersonique 6 peut être réintroduite dans le
15 dispositif 100 depuis l'entrée de gaz 22, et être uniformément répartie dans ce dispositif à l'aide du by-pass réglable 24, permettant le rééquilibrage des pressions à une échelle de temps proche de la seconde.

Une solution additionnelle ou alternative à
20 celle du by-pass 22 pourrait consister à assurer la présence d'une fuite au niveau des pistons libre et commandé 4 et 16, en prévoyant un passage entre ces pistons et leurs chambres 2 et 14 associées. Notons que ce passage peut tout simplement prendre la forme d'un
25 jeu entre ces différents éléments.

Plusieurs techniques de pilotage du piston commandé 16 sont envisageables afin de provoquer le déplacement du gaz à injecter dans les éléments constitutifs du dispositif d'injection 100, ainsi que
30 la pression/dépression au niveau du piston libre 4.

A cet égard, on peut citer la technique de compression d'un soufflet par un vérin hydraulique. Cependant, dans le mode de réalisation préféré décrit de la présente invention, c'est un ensemble magnétique
5 26 qui permet le déplacement du piston commandé 16 à l'intérieur de la seconde chambre 14. Notons que cette solution est particulièrement avantageuse dans la mesure où elle permet de limiter fortement l'inventaire en gaz à injecter, par rapport aux autres solutions
10 proposées.

Toujours en référence à la figure 2, on voit que l'ensemble magnétique 26 comporte deux bobines 28 et 30 espacées verticalement et entourant la seconde chambre 14 du dispositif 100. Cet agencement
15 spécifique, du type lentille magnétique, autorise un mouvement rapide du piston commandé 16 dans sa chambre associée 14, ainsi que la possibilité d'obtenir une force de percussion importante du piston libre 4 sur la soupape 10 du dispositif 100.

20 Typiquement, les bobines 28 et 30 sont composées par 800 tours d'un fil de 2,5 mm de diamètre, et alimentés par un courant de l'ordre de 30 à 40 A. La résistance est d'environ 1 Ω et la self-inductance de l'ordre de 0,1 H. Des mesures réalisées ont alors
25 permis de constater que le champ produit au niveau du piston commandé 16 était d'environ 25 mT/A.

A titre indicatif, il faut noter que la création de courant dans les bobines 28 et 30 demande une puissance importante, avec en particulier une
30 tension initiale élevée pour pouvoir lutter contre la self-inductance de ces bobines. Une tension de 500 V et

une intensité de 40 A peuvent alors être des valeurs assurant une alimentation électrique initiale adéquate des bobines 28 et 30. De plus, pour piloter ces bobines, il est possible d'utiliser une méthode simple et économique visant à réaliser un circuit RLC résonant entre l'inductance des bobines 28 et 30 et un banc de capacités (non représenté), par exemple de 530 μF . Ce dernier est préalablement chargé avant d'être connecté à l'une des bobines 28,30 par un thyristor rapide, puis connecté à l'autre bobine au moment de l'inversion du courant. De cette manière, il devient donc relativement aisé de créer un mouvement de va-et-vient du piston commandé 16 dans sa seconde chambre 14 associée, à l'aide d'une alimentation électrique fonctionnant pendant des périodes d'environ 100 ms, à une tension comprise entre 100 et 150 V et une intensité comprise entre 30 et 40 A.

Dans ce mode de réalisation préféré de la présente invention, la première chambre 2 est réalisée dans un bloc de matière 31, de préférence en acier inoxydable, de façon à définir un espace 32 sensiblement cylindrique de section circulaire, dans lequel le piston libre 4 est susceptible d'être propulsé. Un canal adjacent 34 à la première chambre 2 est réalisé en prévoyant une gorge 36 au niveau d'une paroi latérale du bloc de matière 31, cette gorge 36 étant fermée par une plaque 38. Comme on peut le voir sur la figure 2, le canal adjacent 34 communique avec la première portion d'extrémité 2a correspondant à la portion d'extrémité haute de la première chambre 2, par l'intermédiaire d'une ouverture latérale 39. De plus,

le canal adjacent 34 longe verticalement cette première chambre 2 afin de s'étendre jusqu'au niveau de la seconde portion d'extrémité 2b, correspondant à la portion d'extrémité basse de cette même chambre 2.

5 La première chambre 2 et le canal adjacent 34 sont obturés, au niveau de leurs portions d'extrémité basses, par un bloc de fermeture 40.

 Lorsque le bloc de fermeture 40 est assemblé sur le bloc de matière 31, un premier orifice
10 42 débouche dans le canal adjacent 34 et coopère avec le premier conduit de raccordement 18, de manière à permettre une circulation du gaz à injecter entre la première portion d'extrémité 2a de la première chambre 2, et la seconde portion d'extrémité 14b de la seconde
15 chambre 14. Par ailleurs, le bloc de fermeture 40 est également muni d'un second orifice 44, coopérant avec le second conduit de raccordement 20 et débouchant directement dans la seconde portion d'extrémité 2b de la première chambre 2, de manière à permettre une
20 circulation du gaz à injecter entre cette dernière et la première portion d'extrémité 14a de la seconde chambre 14.

 Notons que le bloc de fermeture 40 peut être assemblé par vissage sur le bloc de matière 31,
25 puis être soudé à ce dernier afin de procurer une étanchéité parfaite.

 Dans la première portion d'extrémité 2a de la première chambre 2, il est prévu une enceinte d'injection 46, notamment délimitée en partie haute par
30 l'ouverture 8 obturée par la soupape 10 du dispositif 100. Comme cela sera décrit plus précisément ci-

dessous, l'enceinte d'injection 46 peut également être délimitée en partie basse par le piston libre 4, lorsque celui-ci vient percuter la soupape 10. Le volume de cette enceinte d'injection 46 est bien
5 entendu déterminé en fonction de la quantité de gaz que l'on désire éjecter de la tuyère supersonique 6 à chaque impulsion. Il peut par exemple être de l'ordre de $0,65 \text{ cm}^3$.

La soupape 10, obturant l'ouverture 8
10 pratiquée dans la première chambre 2 du dispositif 100, dispose d'une tête 48 traversant cette ouverture 8, et faisant saillie à l'intérieur de l'enceinte d'injection 46. De plus, cette soupape 10 est mise sous tension à l'aide d'un ressort 50 lui permettant d'écraser un
15 joint d'étanchéité 52, prévu autour de l'ouverture 8 pratiquée dans la première chambre 2. Le joint d'étanchéité 52 est préférentiellement du type joint plastique fluoré, apte à maintenir l'étanchéité de la première chambre 2 jusqu'à une température avoisinant
20 250°C . Pour sa part, le ressort 50 est par exemple adapté de sorte que l'ouverture maximale de la soupape 10 nécessite une compression du ressort de l'ordre de 25 daN.

Dans ce mode de réalisation préféré de la
25 présente invention, le ressort 50 est placé dans un logement 54 où il est précontraint de quelques millimètres, par exemple de 5 mm, à l'aide d'une vis 56 située à une extrémité haute du logement 54. Ce logement 54 est réalisé dans le même bloc de matière 31
30 que celui dans lequel sont réalisés la première chambre 2 et le canal adjacent 34 du dispositif 100. Ainsi, le

logement 54 est sensiblement cylindrique de section circulaire, coaxial à la première chambre 2, et séparée de cette dernière par l'intermédiaire de l'ouverture 8 qui est également coaxiale à ces deux éléments 2 et 54.

5 A proximité de l'ouverture 8 de la première chambre 2, le logement 54 du ressort 50 est muni d'un orifice latéral 58, faisant communiquer un espace intérieur du logement 54 avec la tuyère supersonique 6 du dispositif 100. Lorsque le dispositif d'injection
10 100 est dans un état de repos, la soupape 10 dispose d'une portion de fermeture 59 dont la paroi inférieure obture l'ouverture 8, et dont la paroi latérale obture totalement l'orifice latéral 58 prévu dans le logement 54.

15 La tuyère supersonique 6 est assemblée extérieurement sur le logement 54, par exemple par soudage, afin que lors d'un actionnement de la soupape 10, le gaz sous pression situé dans l'enceinte d'injection 46 puisse s'échapper par l'ouverture 8 et
20 l'orifice latéral 58 progressivement libérés, et être éjecté de la tuyère supersonique 6 du dispositif 100.

 Notons que dans le mode de réalisation préféré représenté sur la figure 2, la tuyère supersonique 6 est assemblée sur le logement 54 du
25 ressort 50 de façon à être sensiblement perpendiculaire à ce dernier. Bien entendu, sans sortir du cadre de l'invention, la tuyère supersonique 6 pourrait être disposée différemment, par exemple selon une inclinaison spécifique déterminée en fonction de
30 l'application du dispositif d'injection 100.

La tuyère supersonique 6 montée sur le logement 54 est préférentiellement du type tuyère de Laval supersonique destiné à limiter la dispersion axiale du gaz, et adaptée en fonction des besoins rencontrés. En effet, il est possible de dimensionner les sections d'entrée et de sortie de la tuyère 6 afin d'obtenir un nombre de Mach donné. A titre d'exemple, une section d'entrée de $0,8 \text{ mm}^2$ et une section de sortie de $0,5 \text{ cm}^2$ permet d'obtenir un nombre de Mach égal à quatre, avec une pression de fonctionnement du dispositif d'injection 100 pouvant atteindre au moins 10 bars. La valeur des sections de la tuyère 6 peut ainsi être modifiée afin d'obtenir un nombre de Mach plus important, sans sortir du cadre de l'invention. Toutefois, notons que le dimensionnement de la tuyère supersonique 6 doit également tenir compte du domaine d'application du dispositif d'injection 100, dans le but de présenter un encombrement final compatible avec cette application.

Le piston libre 4, destiné à être mis en mouvement dans la première chambre 2, est de préférence composé de deux éléments. Parmi ces deux éléments, on compte tout d'abord un élément externe 60 en bronze, ce matériau assurant un glissement relativement facile du piston libre 4 à l'intérieur de la première chambre 2. Lorsque le piston libre 4 est propulsé vers la première portion d'extrémité 2a de la chambre 2, son déplacement en translation est stoppé par un épaulement 62, pratiqué dans le bloc de matériau unique 31 dans lequel est réalisée la première chambre 2. Par ailleurs, dans cette position d'arrêt contre l'épaulement 62,

l'élément externe 60 obture l'ouverture latérale 39
communiquant avec le canal adjacent 34, de manière à
fermer, en partie basse, l'enceinte d'injection 46
prévue dans la première portion d'extrémité 2a de la
5 première chambre 2.

D'autre part, le piston libre 4 comporte
également un élément interne 64, agencé de façon à
coulisser par rapport à l'élément externe 60. La
fonction principale de cet élément interne 64 est de
10 percuter la soupape 10, lorsque le piston libre 4 a été
mis en mouvement dans la première chambre 2, et
légèrement avant que l'élément interne 60 ait été
stoppé en translation par l'épaulement 62. Pour assurer
un bon fonctionnement du dispositif d'injection 100, il
15 est préférable que le rebond de l'élément interne 64 du
piston libre 4, engendré lors de la percussion de la
soupape 6, soit limité au maximum. Ainsi, il est
possible de prévoir un revêtement supérieur en cuivre
ou en aluminium sur cet élément interne 64, afin de
20 provoquer un rebond faible ainsi qu'une forte
étanchéité de l'enceinte d'injection 46.

A titre d'exemple non limitatif et en
combinaison avec les indications déjà mentionnées ci-
dessus, le dispositif d'injection 100 d'un flux de gaz
25 supersonique pulsé, selon le mode de réalisation
préférée représenté sur la figure 2, peut être conçu en
respectant les paramètres suivants :

- diamètre extérieur de l'élément externe
60 du piston libre 4 : 16 mm ;
- 30 - masse totale du piston libre 4 : 40 g ;

- course du piston libre 4 dans la première chambre 2 : 85 mm ;
 - volume de la première chambre 2 : 17 cm^3 ;
 - diamètre intérieur de chacun des conduits de raccordement 18 et 20 : 6 mm ;
 - longueur de chacun des conduits de raccordement 18 et 20 : 5 m ;
 - volume de chacun des conduits de raccordement 18 et 20 : 140 cm^3 ;
 - diamètre extérieur du piston commandé 16 : 32 mm ;
 - longueur du piston commandé 16 : 50 mm ;
 - masse du piston commandé 16 : 320 g ;
 - course du piston commandé 16 dans la seconde chambre 14 : 20 à 40 mm ;
 - volume de la seconde chambre 14 : 80 cm^3 .
- A l'aide d'un tel dispositif d'injection 100, des tests réalisés sur une installation d'étude des plasmas de fusion thermonucléaire ont démontré qu'il était possible d'injecter un pulse de gaz d'une quantité de l'ordre de $0,2$ à $0,5 \text{ Pa.m}^3$, pendant environ $0,4$ à $0,5 \text{ ms}$ à jusqu'à une fréquence de fonctionnement au moins égale à 10 Hertz, et ce en prévoyant une ouverture de la soupape 10 pendant une période comprise entre 1 et 3 ms. Comme mentionné précédemment, il est rappelé que l'unité « Pa.m^3 » de quantité de matière employée et communément utilisée pour les plasmas de fusion, correspond à la quantité de matière contenue dans un mètre cube à une pression de un Pascal, mesurée à la température ambiante de 20°C .

Ainsi, le dispositif d'injection 100 peut autoriser un débit de pulses de gaz rapides et concentrés d'environ 400 Pa.m³/s.

5 Les figures 3a à 3g schématisent le fonctionnement du dispositif d'injection 100, lorsque le piston commandé 16 (non représenté sur ces figures) est animé d'un mouvement allant dans la direction de la seconde portion d'extrémité 14b vers la première portion d'extrémité 14a de la seconde chambre 14.

10 Comme cela est symbolisé par la flèche de la figure 3a, le mouvement du piston commandé 16 décrit ci-dessus provoque, à l'aide des conduits de raccordement 18 et 20, une propulsion du piston libre 4 dans la direction allant de la seconde portion
15 d'extrémité 2b vers la première portion d'extrémité 2a de la première chambre 2. Préférentiellement, le piston libre 4, propulsé en raison du phénomène de pression/dépression se produisant de part et d'autre de celui-ci, arrive au niveau de la première portion
20 d'extrémité 2a de la première chambre 2 avec une vitesse comprise entre environ 5 et 8 m/s.

L'élément interne 64 du piston libre 4 vient alors percuter la tête 48 de la soupape 10, comme cela est représenté sur la figure 3b. La portion de
25 fermeture 59 de la soupape 10 est donc décollée du joint d'étanchéité 52, et un passage relativement étroit permet au gaz sous pression contenu dans l'enceinte d'injection 46 de commencer à s'échapper en direction de la tuyère supersonique 6, par l'ouverture
30 8 et l'orifice latéral 58 se libérant progressivement.

Sur la figure 3c, on voit qu'après le début de la percussion de la soupape 10 par l'élément interne 64, l'élément externe 60 du piston libre 4 est toujours animé d'un mouvement de translation en direction de la première portion d'extrémité 2a de la première chambre 2, jusqu'à ce qu'il soit stoppé par l'épaulement 62, prévu à cet effet dans le bloc de matière 31. Dans cet état, l'ouverture latérale 39 entre la première chambre 2 et le canal adjacent 34 est obturée par la paroi latérale extérieure de l'élément externe 60, de sorte que l'enceinte d'injection 46 soit fermée au niveau de sa partie basse. L'enceinte d'injection 46 est alors isolée de façon étanche du reste de la première chambre 2, et le gaz sous pression se vide donc de cette enceinte 46, en direction de la tuyère supersonique 6. De plus, il est à noter que la dépression créée dans l'enceinte d'injection 46 maintient également de façon étanche l'élément externe 60 contre l'épaulement 62.

Ensuite, comme cela est représenté sur la figure 3d, l'élément interne 64 coulisse dans l'élément externe 60 du piston libre 4, afin de provoquer une ouverture encore plus importante de la soupape 10, et donc un débit plus conséquent de gaz sous pression en direction de la tuyère supersonique 6. Il est précisé que ce débit de gaz est ensuite relativement rapidement contrôlé par la section d'entrée de cette tuyère 6.

La figure 3e symbolise l'état dans lequel la soupape 10 est actionnée au maximum. Dans un tel état, l'orifice latéral 58 prévu dans le logement 54 du ressort 50 est totalement dégagé, alors que celui-ci était jusqu'à présent au moins partiellement obturé par

la paroi latérale de la portion de fermeture 59 de la soupape 10. A ce titre, comme mentionné précédemment, le ressort 50 est comprimé dans son logement 54 par une force de l'ordre de 25 daN. Il est de plus précisé que
5 dans cet état, l'éjection du pulse de gaz depuis la tuyère supersonique 6 est terminée.

Par l'action du ressort de compression 50, la soupape 10 vient à nouveau obturer l'ouverture 8 pratiquée dans la première chambre 2. Comme ceci est
10 visible sur la figure 3f, le remplacement de la soupape 10 entraîne, par contact, un mouvement des éléments externe et interne 60 et 64 du piston libre 4 en direction de la seconde portion d'extrémité 2b, engendrant le décollement de l'élément externe 60 de
15 l'épaule 62. La portion de fermeture 59 de la soupape 10 retrouve ensuite le contact avec le joint d'étanchéité 52 entourant l'ouverture 8, 1 à 3 ms après l'avoir quitté, jusqu'à l'écraser totalement comme cela est représenté sur la figure 3g. Sur cette dernière
20 figure où l'on peut considérer que les pressions du gaz à injecter sont sensiblement identiques de part et d'autre du piston libre 4, on voit que le contact entre la tête 48 de la soupape 10 et l'élément interne 64 du piston libre 4 n'existe plus. Cependant, l'inversion du
25 courant dans les bobines 28 et 30 de l'ensemble magnétique 26 permet d'engendrer une propulsion du piston libre 4 dans la direction de la seconde portion d'extrémité 2b, de sorte qu'il retrouve sa position de repos au fond de la première chambre 2 du dispositif
30 d'injection 100.

L'évolution de différents paramètres du dispositif 100 lors d'une injection d'un pulse de gaz supersonique est également illustrée sur le graphe de la figure 4, tracé suite à la réalisation d'essais effectués sur un dispositif d'injection 100 disposant de caractéristiques techniques similaires à celles exposées précédemment.

Sur ce graphe, l'axe des abscisses est un axe de temps en millisecondes, tandis que l'axe des ordonnées peut différer en fonction de la nature de chacune des courbes, parmi lesquelles :

- la courbe (a) représente la pression, en bars, à l'intérieur de l'enceinte d'injection 46 ;
- la courbe (b) représente la quantité de gaz éjecté de la tuyère supersonique 6, en $\text{Pa.m}^3 \times 10$;
- la courbe (c) représente le débit de gaz sortant de la tuyère supersonique 6, en unité arbitraire ;
- la courbe (d) représente la course de la soupape 10, en mm ;
- la courbe (e) représente la course de l'élément externe 60 du piston libre 4, en mm.

Sur ce graphe, la courbe (e) montre qu'après une durée légèrement inférieure à 50 ms suivant la mise sous tension des bobines 28 et 30 de l'ensemble magnétique 26, l'élément externe 60 vient en butée contre l'épaulement 62, et rebondit légèrement contre ce dernier avant de conserver cette position pendant quasiment l'intégralité de l'ouverture de la soupape 10. En référence à la courbe (d), on voit que la soupape 10 est actionnée avant que l'élément externe

60 vient en butée contre l'épaule 62, en raison de sa percussion par l'élément interne 64 du piston libre 4, comme cela est décrit ci-dessus et représenté sur la figure 3b.

5 Dès le début de l'ouverture de la soupape 10, la valeur du débit de gaz éjecté de la tuyère 6 devient maximum avant même que l'élément externe 60 n'ait été stoppé par l'épaule 62, puis décroît sensiblement de manière exponentielle comme le montre
10 la courbe (c). De la même façon, l'ouverture de la soupape 10 entraîne une chute brutale de la pression à l'intérieur de l'enceinte d'injection 46, comme cela est visible sur la courbe (a).

 Sur la courbe (b), on s'aperçoit que tout
15 au long de la phase ascendante de la soupape 10, la quantité de gaz éjecté de la tuyère 6 croît au cours du temps pour atteindre une quantité totale de l'ordre de $0,4 \text{ Pa.m}^3$, environ 0,5 ms après le début de l'actionnement de la soupape 10, cette dernière restant
20 pourtant ouverte pendant une période proche de 2 ms. En d'autres termes, il a été constaté que durant la descente de la soupape 10 en direction de l'ouverture 8, la quantité de gaz éjecté de la tuyère supersonique 6 était quasiment nulle.

25 En référence à la figure 5, le dispositif d'injection 100 est installé dans une enceinte à vide 200 en forme de tore, similaire à celle présente dans l'installation de fusion thermonucléaire « Tore Supra » sur laquelle l'invention a été développée.

30 Sur cette figure 5, on voit que le bloc de matière 31, dans lequel est notamment formée la

première chambre 2 contenant le piston libre 4 du dispositif d'injection 100, est monté fixement sur la face interne de l'enceinte 200. De plus, la tuyère supersonique 6 du dispositif 100 est agencée de façon à se situer entre des tuiles de recouvrement 210, afin que les pulses de gaz éjectés de cette tuyère 6 puissent rejoindre le plasma 208.

Le bloc de matière 31 est fixé de manière à ce que la première chambre 2 dispose d'une position sensiblement verticale, telle que celle représentée sur les figures 1, 2 et 3a à 3g, toujours dans le but que le piston libre 4 se positionne par gravité au fond de la première chambre 2, lorsque le dispositif d'injection 100 est dans un état de repos.

Pour assurer le fonctionnement du dispositif d'injection 100, les conduits de raccordement 18 et 20, connectés à la première chambre 2, sortent de l'enceinte à vide 200 pour être raccordés aux moyens de mise en mouvement 12 du piston libre 4, tels que ceux décrits précédemment. Ainsi, la seconde chambre 14 et l'ensemble magnétique 26 peuvent être situés à distance de l'enceinte à vide 200, de sorte que leur fonctionnement n'est en aucun cas altéré par la présence du plasma 208. D'autre part, comme décrit ci-dessus, la seconde chambre 14 est préférentiellement disposée de façon verticale à distance de l'enceinte à vide 200, afin que le piston commandé 16 se situe par gravité au niveau de la seconde portion d'extrémité 14b, lorsque le dispositif 100 est dans un état de repos.

En retenant une telle solution technique pour l'alimentation en combustible du plasma 208, on s'aperçoit que le dispositif d'injection 100 est tout à fait adapté pour supporter les contraintes
5 environnantes de l'enceinte à vide 200.

En effet, la simplicité de conception et le mode de fonctionnement du dispositif 100 permettent à ce dernier d'être placé à quelques 10 cm du plasma 208, dans un champ magnétique intense d'environ 6 T et à une
10 température de l'ordre de 200 à 250°C, tout en supportant la puissance rayonnée par le plasma 208, pouvant atteindre jusqu'à 1 MW/m³. De plus, il est en outre indiqué que le dispositif d'injection 100 proposé est compatible avec l'ultravide régnant dans l'enceinte
15 200, cet ultravide engendrant une pression résiduelle d'environ 10⁻⁵ Pa, nécessaire pour obtenir une bonne qualité du plasma 208.

Bien entendu, le nombre de dispositifs d'injection 100 sur l'enceinte à vide 200 est déterminé
20 en fonction des besoins rencontrés, et particulièrement en fonction du volume du plasma 208. A titre d'exemple, il peut être de trois.

Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme du métier au
25 dispositif d'injection 1 et 100 qui viennent d'être décrits, uniquement à titre d'exemples non limitatifs.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'injection (1,100) d'un flux de gaz supersonique pulsé, caractérisé en ce qu'il comporte une première chambre (2) à l'intérieur de laquelle le gaz à injecter se trouve sous pression de part et d'autre d'un piston libre (4), le dispositif (1,100) comprenant des moyens de mise en mouvement (12) de ce piston libre, connectés à ladite première chambre (2) et susceptibles de provoquer une propulsion du piston libre (4), ledit dispositif (1,100) comportant en outre une tuyère supersonique (6) d'éjection du gaz apte à communiquer avec la première chambre (2) par l'intermédiaire d'une ouverture (8) pratiquée dans cette première chambre (2), et comportant également une soupape (10) obturant ladite ouverture (8) et apte à être actionnée par percussion du piston libre (4).

2. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 1, dans lequel les moyens de mise en mouvement (12) du piston libre sont susceptibles de créer une différence de pression dans le gaz à injecter, de part et d'autre du piston libre (4).

3. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel les moyens de mise en mouvement (12) du piston libre comprennent une seconde chambre (14) à l'intérieur de laquelle le gaz à injecter se trouve sous pression de part et d'autre d'un piston commandé (16).

4. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 3, dans lequel ladite seconde chambre (14) est connectée à ladite première chambre (2) par l'intermédiaire d'un premier conduit de raccordement

(18) faisant communiquer une première portion d'extrémité (2a) de la première chambre (2) avec une seconde portion d'extrémité (14b) de la seconde chambre (14), et par l'intermédiaire d'un second conduit de
5 raccordement (20) faisant communiquer une première portion d'extrémité (14a) de la seconde chambre (14) avec une seconde portion d'extrémité (2b) de la première chambre (2), de sorte qu'un mouvement du piston commandé (16) dans la direction allant de la
10 seconde (14b) vers la première portion d'extrémité (14a) de la seconde chambre (14) provoque une propulsion du piston libre (4) dans la direction allant de la seconde (2b) vers la première portion d'extrémité (2a) de la première chambre (2), et inversement.

15 5. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 4, dans lequel les secondes portions d'extrémité (2b,14b) des première et seconde chambres (2,14) correspondent respectivement à une portion d'extrémité basse des première et seconde chambres
20 (2,14) du dispositif (100).

6. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 4 ou la revendication 5, dans lequel la première portion d'extrémité (14a) de la seconde chambre (14) du dispositif (100) comporte une entrée de
25 gaz (22), destinée à être raccordée à une alimentation en gaz à injecter.

7. Dispositif d'injection (100) selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel le piston commandé (16) est susceptible d'être actionné
30 par un ensemble magnétique (26), comportant deux

bobines espacées (28,30) et montées de façon à entourer ladite seconde chambre (14) du dispositif (100).

8. Dispositif d'injection (100) selon l'une quelconque des revendications 4 à 7, dans lequel la
5 seconde chambre (14) est munie d'un by-pass réglable (24) autorisant la circulation du gaz à injecter entre les première et seconde portions d'extrémité (14a,14b) de cette seconde chambre (14).

9. Dispositif d'injection (100) selon l'une
10 quelconque des revendications 4 à 8, dans lequel au moins l'un des éléments pris parmi le piston libre (4) et le piston commandé (16) est logé dans sa chambre associée (2,14), de façon à former un passage étroit pour le gaz, entre les deux compartiments de la chambre
15 qu'il définit.

10. Dispositif d'injection (100) selon
l'une quelconque des revendications 4 à 9, dans lequel ladite première chambre (2) est obturée au niveau de sa seconde portion d'extrémité (2b) à l'aide d'un bloc de
20 fermeture (40) comprenant un premier (42) et un second orifices (44), ledit premier orifice (42) coopérant avec le premier conduit de raccordement (18) et débouchant dans un canal (34) adjacent à la première chambre (2) communiquant avec la première portion
25 d'extrémité (2a) de cette première chambre (2), ledit second orifice (44) coopérant avec le second conduit de raccordement (20) et débouchant directement dans la première chambre (2) du dispositif (100).

11. Dispositif d'injection (100) selon
30 l'une quelconque des revendications 4 à 10, dans lequel la soupape (10) obturant l'ouverture (8) pratiquée dans

la première chambre (2) du dispositif (100) dispose d'une tête (48) traversant cette ouverture (8) et faisant saillie dans une enceinte d'injection (46) prévue dans la première portion d'extrémité (2a),
5 ladite enceinte d'injection (46) étant apte à être fermée par le piston libre (4).

12. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 11, dans lequel le piston libre (4) comporte un élément externe (60) ainsi qu'un élément
10 interne (64) coulissant dans l'élément externe (60), l'élément interne (64) étant destiné à percuter la tête (48) de ladite soupape (10) afin de l'actionner, et l'élément externe (60) étant destiné à fermer ladite
enceinte d'injection (46).

15 13. Dispositif d'injection (100) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite soupape (10) est mise sous tension par l'intermédiaire d'un ressort (50), de manière à écraser un joint d'étanchéité (52) situé autour de ladite
20 ouverture (8) pratiquée dans la première chambre (2) du dispositif (100).

14. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 13, dans lequel le ressort (50) est situé dans un logement (54) réalisé d'une seule pièce avec la
25 première chambre (2), ledit logement (54) et la première chambre (2) étant sensiblement cylindriques et coaxiaux et séparés par ladite ouverture (8) pratiquée dans la première chambre (2) du dispositif (100).

15. Dispositif d'injection (100) selon la revendication 14, dans lequel le logement (54) du
30 ressort (50) dispose d'un orifice (58) faisant

BEST AVAILABLE COPY

communiquer un espace intérieur de ce logement (54) avec ladite tuyère supersonique (6) du dispositif (100).

16. Dispositif d'injection (1,100) selon
5 l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le gaz à injecter est introduit dans le dispositif (100) sous une pression comprise entre environ 3 et 10 bars.

17. Dispositif d'injection (1,100) selon
10 l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les moyens de mise en mouvement (12) du piston libre sont aptes à provoquer une ouverture de la soupape pendant une durée d'environ 2 ms et une
15 éjection de gaz de la tuyère supersonique (6) d'une quantité de l'ordre de $0,5 \text{ Pa.m}^3$ pendant une durée d'environ 0,5 ms, à une fréquence de fonctionnement d'au moins 10 Hz.

20

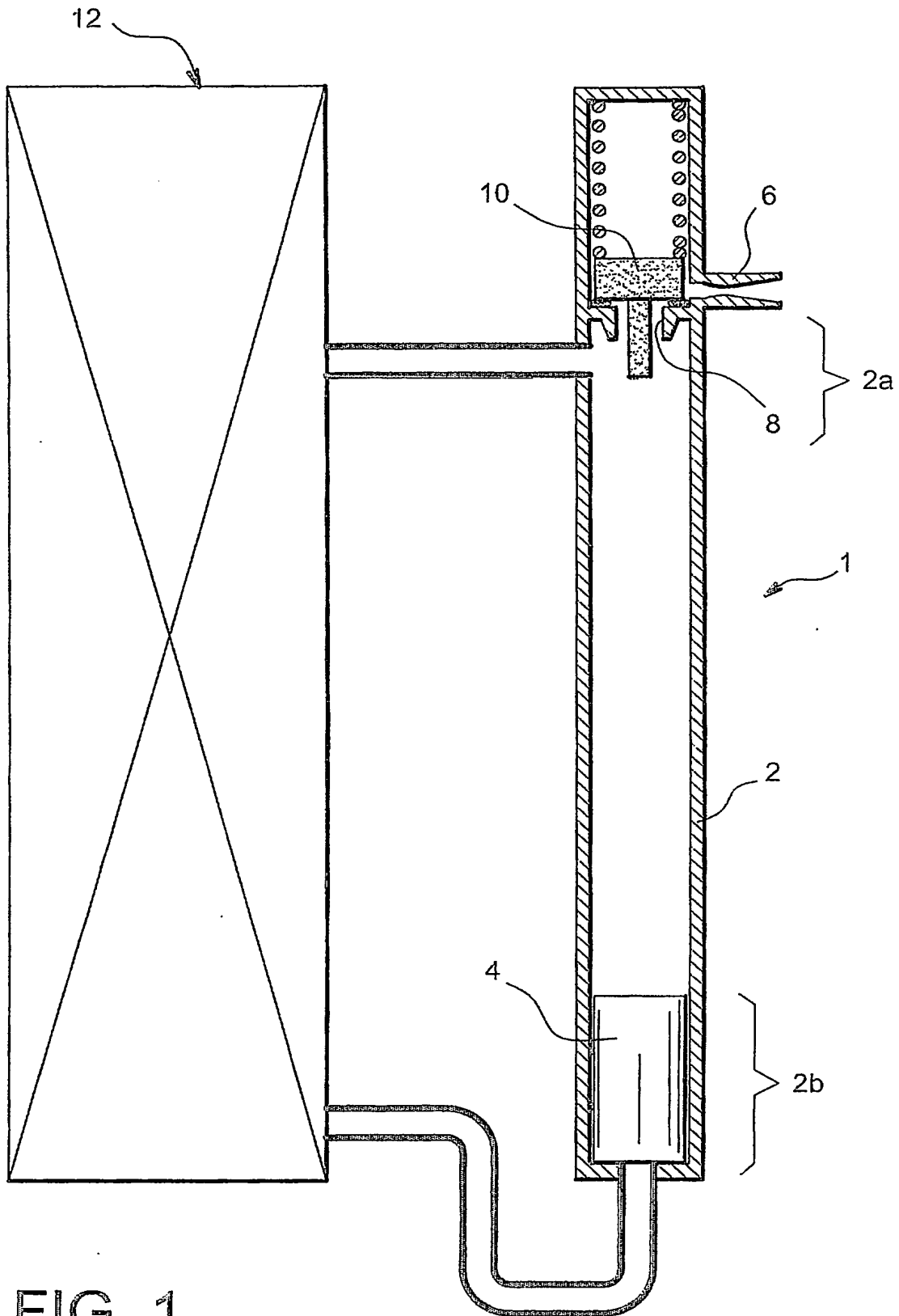


FIG. 1

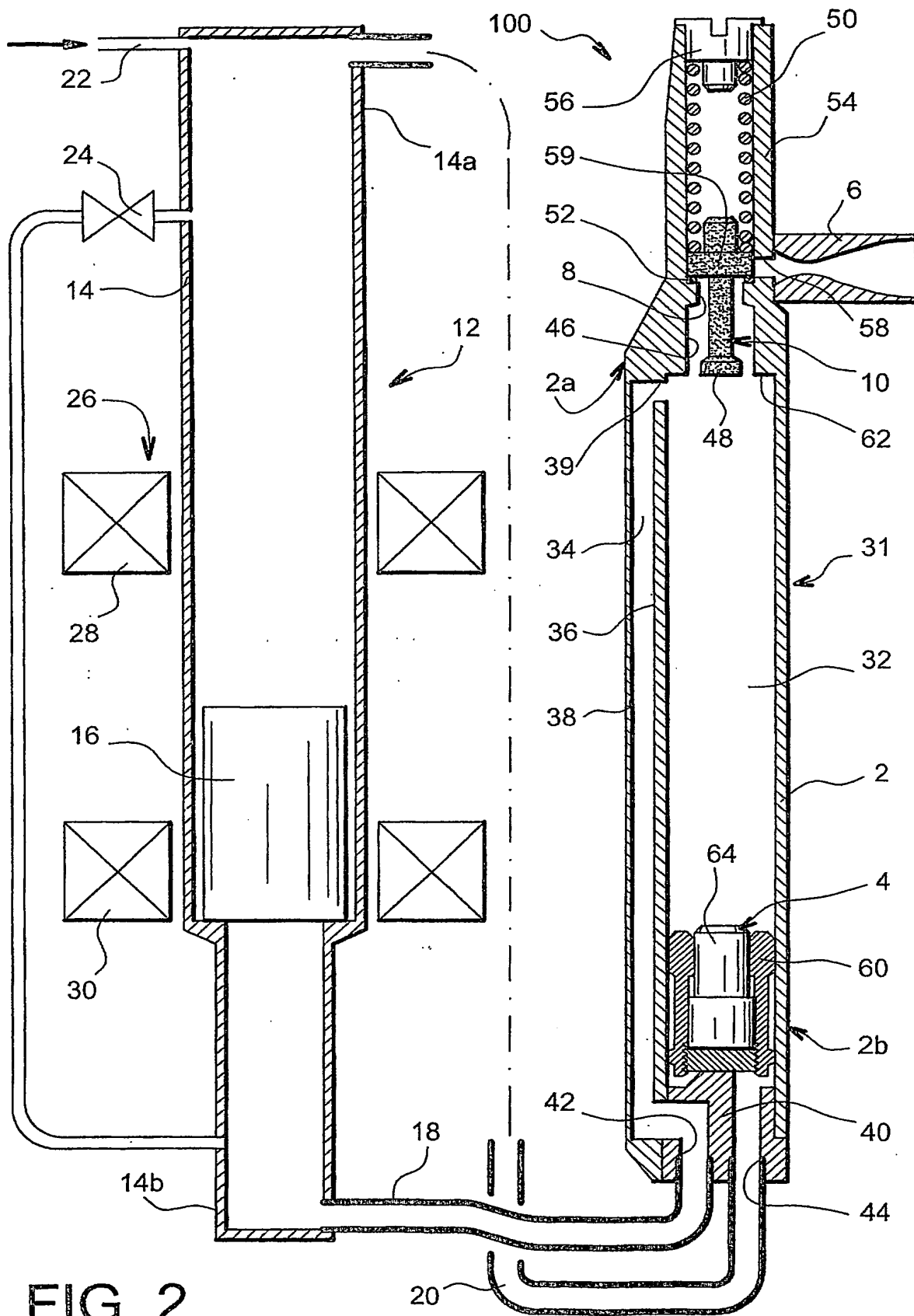


FIG. 2

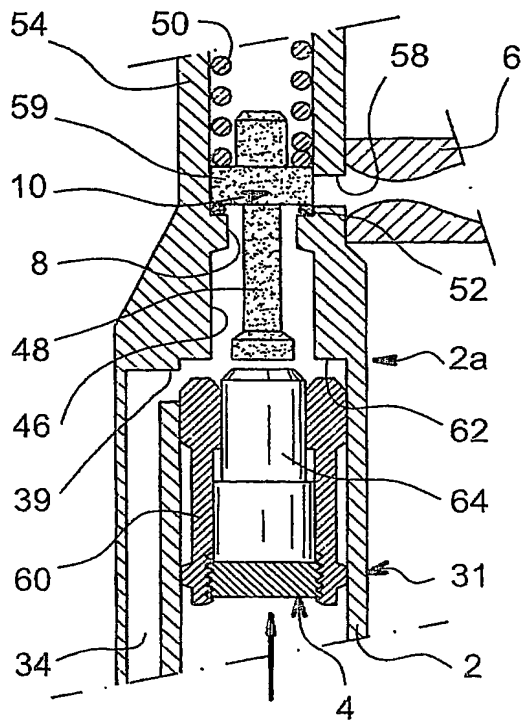


FIG. 3a

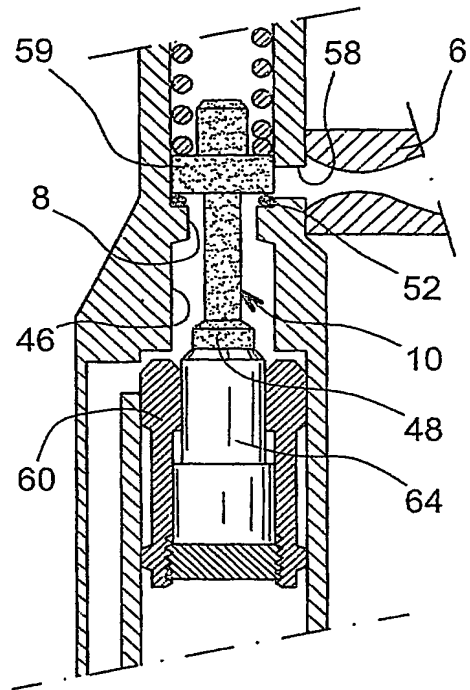


FIG. 3b

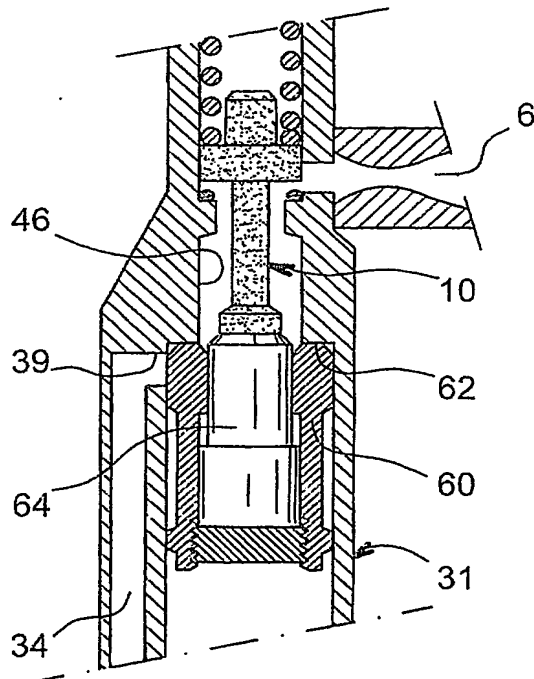


FIG. 3c

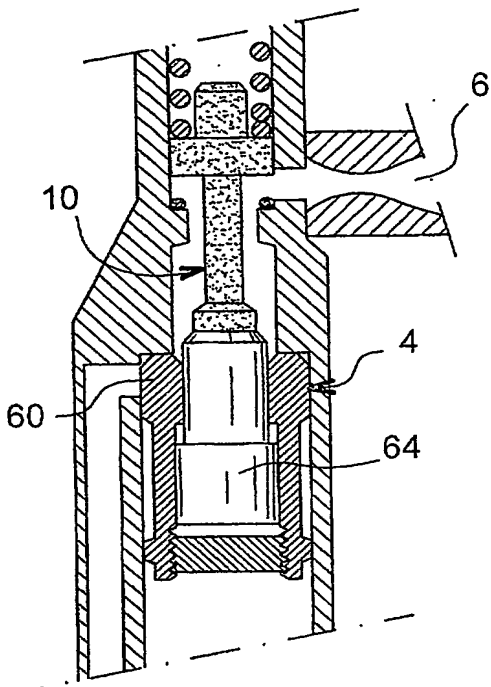


FIG. 3d

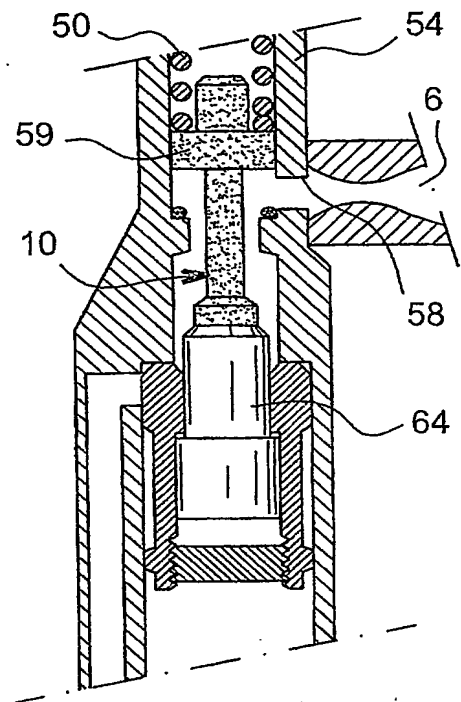


FIG. 3e

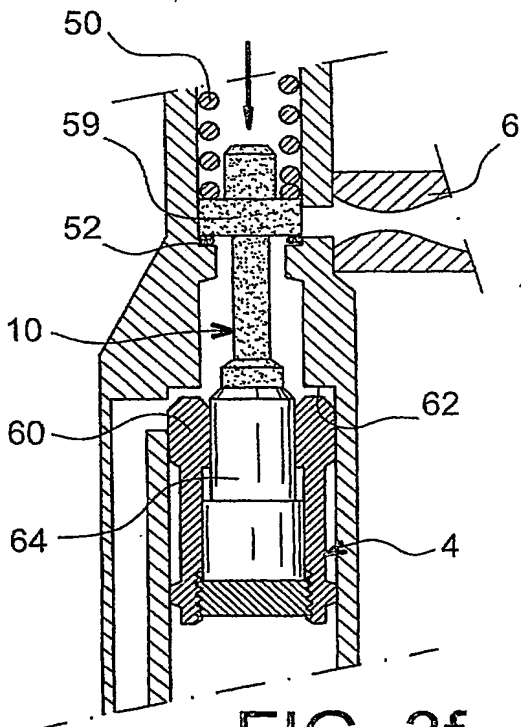


FIG. 3f

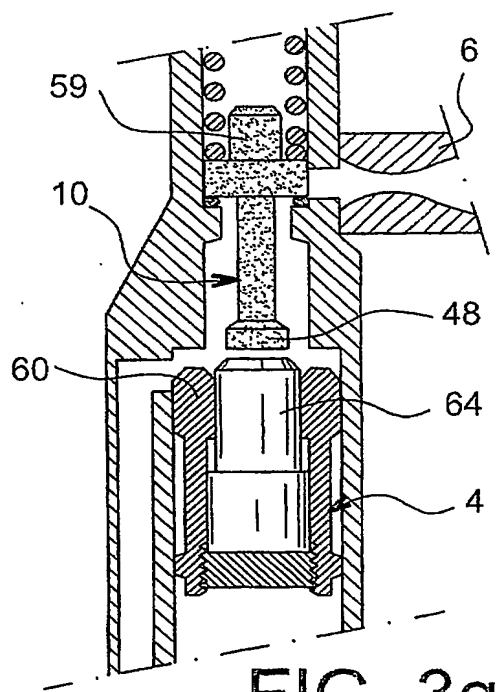


FIG. 3g

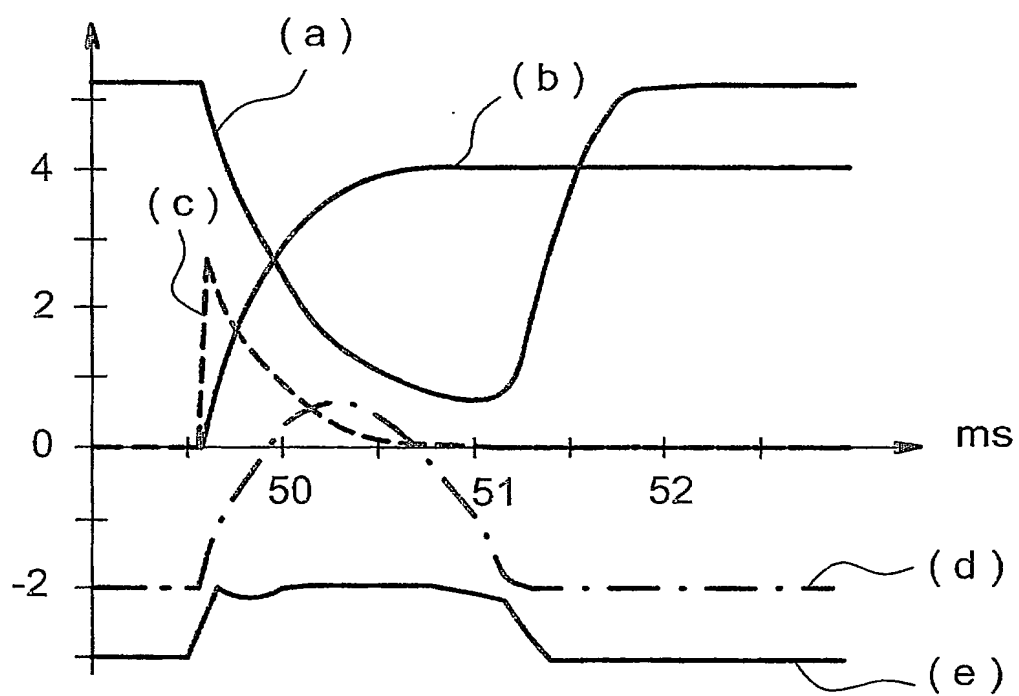


FIG. 4

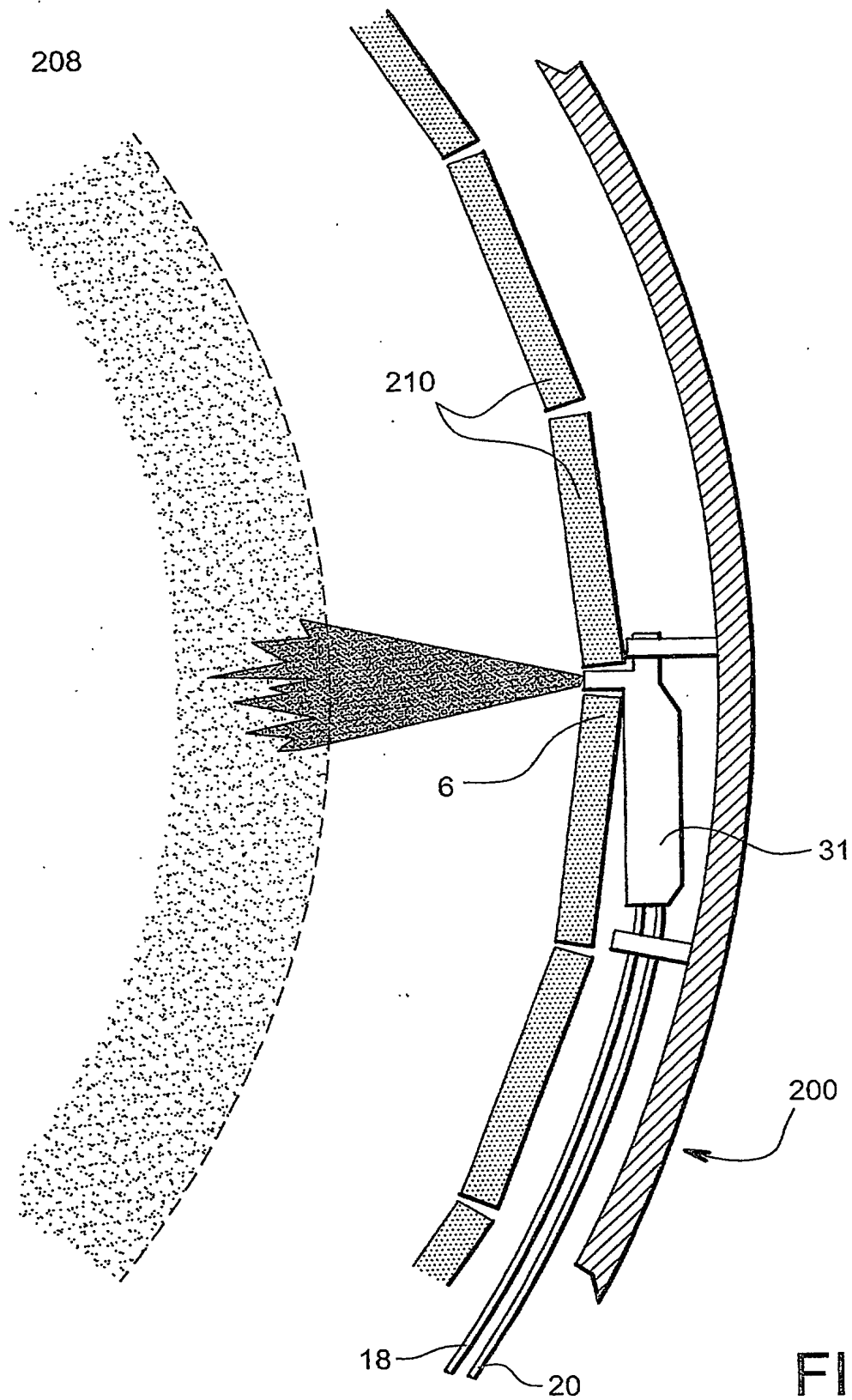


FIG. 5

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° 1../1..

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 @ W / 270601

Vos références pour ce dossier (facultatif)

B 14146.3/AP

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

03.00910 DU 28.01.2003

TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)

DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FLUX DE GAZ SUPERSONIQUE PULSE.

LE(S) DEMANDEUR(S) :

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
31-33 rue de la Fédération
75752 PARIS 15 ème.

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1 Nom		MARTIN
Prénoms		Gilles
Adresse	Rue	Le Moulin Nalin
	Code postal et ville	04130 DAUPHIN
Société d'appartenance (facultatif)		
2 Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		
3 Nom		
Prénoms		
Adresse	Rue	
	Code postal et ville	
Société d'appartenance (facultatif)		

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

PARIS LE 05 FEVRIER 2003
P. AHNER

PC/FR0004/50030

